

AT-NO: JP407294220A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07294220 A
TITLE: METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING FILM
THICKNESS OF MULTILAYERED THIN FILM
PUBN-DATE: November 10, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
KUDO, SHIGEKI
NOMURA, KAZUO
NARIAI, MASANORI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
mitsubishi chem corp	N/A

APPL-NO: JP06089517

APPL-DATE: April 27, 1994

INT-CL (IPC): G01B011/06

ABSTRACT:

PURPOSE: To highly accurately detect the thickness of a multilayered thin film at high speeds.

CONSTITUTION: A white light from a white light source 1 is cast on a sample 10 via an optical fiber 2. A light reflected from the sample 10 is, via an optical fiber 3, introduced into a spectroscope 4. The light spectrum is processed by fast Fourier transformation, whereby an energy spectrum is obtained from a multi-channel detector 5. The spectrum is then processed by a signal processor 7. The thickness of a multilayered thin film is obtained in this manner.

COPYRIGHT: (C) 1995, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-294220

(43) 公開日 平成7年(1995)11月10日

(51) Int. Cl.⁶

G 0 1 B 11/06

識別記号

G

片内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-89517

(22) 出願日 平成6年(1994)4月27日

(71) 出願人 000005968

三菱化学株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番2号

(72) 発明者 工藤 重樹

神奈川県横浜市緑区鴨志田町1000番地 三

菱化成株式会社総合研究所内

(72) 発明者 野村 一雄

神奈川県横浜市緑区鴨志田町1000番地 三

菱化成株式会社総合研究所内

(72) 発明者 成合 正憲

神奈川県茅ヶ崎市円蔵370番地 三菱化成

株式会社茅ヶ崎事業所内

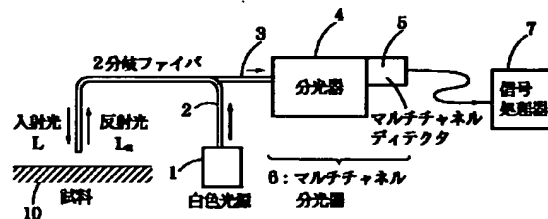
(74) 代理人 弁理士 小林 将高

(54) 【発明の名称】 多層薄膜の膜厚検出方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 多層薄膜の膜厚検出を高速、かつ高精度に検出可能とする。

【構成】 試料10に白色光源1から白色光を光ファイバ2を介して照射し、試料10より反射した光を光ファイバ3を介して分光器4に入射させて分光し、そのスペクトルを高速フーリエ変換してエネルギースペクトルをマルチチャネルディテクタ5から得た後、信号処理器7で信号処理して多層薄膜の膜厚を得る構成を特徴としている。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 多層薄膜試料に白色光を照射し、該試料より反射した光を分光し、そのスペクトルを高速フーリエ変換してエネルギースペクトルを得、その波形を処理して薄膜の膜厚を得ることを特徴とする多層薄膜の膜厚検出方法。

【請求項2】 波形の処理は、エネルギースペクトルを波数変換することを特徴とする請求項1に記載の多層薄膜の膜厚検出方法。

【請求項3】 多層薄膜試料より反射した光を分光した10
スペクトルをハニング窓処理することを特徴とする請求項1に記載の多層薄膜の膜厚検出方法。

【請求項4】 高速フーリエ変換時に0拡充をすることを特徴とする請求項1に記載の多層薄膜の膜厚検出方法。

【請求項5】 多層薄膜が有機光導電体薄膜を表面に形成した円筒状物の多層薄膜であることを特徴とする請求項1に記載の多層薄膜の膜厚検出方法。

【請求項6】 白色光源と、この白色光源の光を多層薄膜試料に照射する光ファイバと、照射した光の前記多層薄膜試料からの反射光を導く光ファイバと、この光ファイバを介して前記反射光を入射せしめて分光し、その強度を検出するマルチチャネル分光器と、このマルチチャネル分光器の出力を信号処理する信号処理器とからなることを特徴とする多層薄膜の膜厚検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、複写機のドラムに用いられる、有機光導電層を円筒状の基体に塗布した、いわゆるOPCドラム等における多層薄膜の膜厚検出方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】薄膜の膜厚を測定する方法として、繰り返し反射干渉法、光の吸収を用いる方法、触針法、膜の破断面を光学顕微鏡や走査電子線顕微鏡（SEM）で観察する方法、薄膜の重さから測定する方法、等さまざまな手法がある。しかし、試料を非破壊で測定できる点、試料作りの容易さの点、測定手段の試料に及ぼす影響の少ない点等から光を透過する試料に対しては繰り返し反射干渉法が一番優れている。その繰り返し反射干渉法の中には、単色光を用いるもの、一定の波長範囲を用いるものがある。中でも可視光範囲を用いる測定では、メカニカルな駆動部を持たないという点で分光された光を瞬時にセンサーで検出するマルチチャネルディテクタ方式が高速処理に適している。

【0003】しかし、次に示すように単層膜の場合には問題ないが、多層膜の場合になると信号処理方法に問題がある。

【0004】従来の単層膜の厚み測定を図3によって説明する。図3において、11は基板、12は測定対象で

2

ある単層膜であり、13は空気であり、 n_0 、 n_1 、 n_2 は基板11、単層膜12、空気13の屈折率、 L は白色光、 L_R は反射光、 θ は入射角を示す。図3に示すように単層膜12の場合、この薄膜に白色光 L を入射し、その反射光 L_R のスペクトルをマルチチャネル分光器で解析している。このとき振幅反射率 R は

【0005】

【数1】

$$R = \frac{r_2 + r_1 e^{-2\delta_1}}{1 + r_2 \cdot r_1 e^{-2\delta_1}}$$

$$\delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d \cos \theta$$

r_i : 界面での反射フレネル係数 ($i=1, 2$)

n_i : 材料 i の屈折率 ($i=0, 1, 2$)

d : 膜厚

で与えられる。この場合の反射強度スペクトルは $|R|^2$ で、この強度が測定される。簡単な計算により、この

強度は図4に示されるように位相 δ_1 で振動している。そこで屈折率が既知の場合は、極大（極小）を与える波長から薄膜が

【0006】

【数2】

$$d = \frac{m}{2n_1} \frac{1}{\cos \theta} \frac{1}{\lambda_1^{-1} - \lambda_2^{-1}}$$

λ_i : 極大（極小）を与える波長

m : λ_1 と λ_2 ($>\lambda_1$) の間の極大（極小）値を0から番号付けた値で計算できる。

【0007】次に、図5に示すように2層以上の多層膜の場合（例えば、図5ではN層の場合を示し、 n_{N+1} 層目は空気を示す）には、第 j 層からの振幅反射率 R_j は

【0008】

【数3】

$$R_j = \frac{r_{j+1} + R_{j-1} e^{-2\delta_j}}{1 + r_{j+1} \cdot R_{j-1} e^{-2\delta_j}}, R_0 = r_1$$

n_j : 第 j 層の屈折率

d_j : 第 j 層の膜厚

θ_j : 第 j 層の入力角

r_j : 第 j 層のフレネル係数

δ_j : $(2\pi/\lambda) n_j d_j \cos \theta_j$

で与えられる。ここで各層が透明で各層間の多重干渉を無視すると、全体の振幅反射率 R は

【0009】

【数4】

$$R \cong r_1 + r_2 \exp(-2i\delta_1) + r_3 \exp\{-2i(\delta_1 + \delta_2)\} + \dots + r_{N+1} \exp\{-2i(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_N)\}$$

と近似される。その強度スペクトルは $|R|^2$ で、この

量が測定される。この時、各層の屈折率 n_j が既知であれば、測定値から各層の膜厚は、初期値膜厚 d_{j0} ($j = 1 \dots N$) から、よく知られた Newton 法を用いて、繰返し手法で解くことができる。この方法は d_{j0} が任意に選択できず、実際の解の近傍の値を選択しないと速く解が求まらなかったり、別の解になったりして、初期値の選び方が困難で、層数 N が多い場合は、繰返し回数が多く処理時間が長くなり、インライン等での実時間処理には不向きである。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の多層薄膜の膜厚検出方法では処理に時間がかかり、インライン製造工程の中の現場で、工程を乱すことなく測定するには不向きであった。

【0011】そこで本発明は、高速フーリエを変換の手法を用いて、多層薄膜の膜厚検出を高速に、かつ高精度に行うことを可能にする多層薄膜の膜厚検出方法および装置を提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明にかかる多層薄膜の膜厚検出方法は、多層薄膜試料に白色光を照射し、該試料より反射した光を分光し、そのスペクトルを高速フーリエ変換してエネルギースペクトルを得、その波形を処理して薄膜の膜厚を得るようにしたものである。

【0013】また、波形の処理はエネルギースペクトルを波数変換するものである。

【0014】さらに、多層薄膜試料より反射した光を分光したスペクトルをハニング窓処理をするものである。

【0015】また、高速フーリエ変換時に0拡充をするものである。

【0016】そして、多層薄膜は例えば、OPCドラムの多層薄膜としたものである。

【0017】本発明にかかる多層薄膜の膜厚検出装置は、白色光源と、この白色光源の光を多層薄膜試料に照射する光ファイバと、照射した光の前記多層薄膜試料からの反射光を導く光ファイバと、この光ファイバを介して前記反射光を入射せしめて分光し、その強度を検出するマルチチャネル分光器と、このマルチチャネル分光器の出力を信号処理する信号処理器とからなるものである。

【0018】

【作用】本発明の多層薄膜の膜厚検出方法は、白色光源からの光を多層薄膜試料に導き、ここで反射された反射光を分光して、そのスペクトルを、高速フーリエ変換を行いエネルギースペクトルを得た後、その波形を処理することにより薄膜の膜厚を得る。

【0019】また、波形の処理は、エネルギースペクトルを波数変換して行う。

【0020】さらに、多層薄膜試料より反射した光を分光後、そのスペクトルをハニング窓処理して高速フー

リエ変換処理に誤差が生じないようにする。

【0021】また、高速フーリエ変換時に、0拡充を行って精度を向上させる。

【0022】さらに、多層薄膜は例えば、OPCドラムを対象とする。

【0023】本発明の多層薄膜の膜厚検出装置は、白色光源を多層薄膜試料に導き、この試料で反射された反射光をマルチチャネル分光器で分光し、その強度を検出し、信号処理器で処理することにより膜厚を得る。

10 【0024】

【実施例】図1は本発明の多層薄膜の膜厚検出装置の一実施例の構成を示すブロック図である。この図において、1は白色光源、2、3は光ファイバで、2分岐ファイバーの構成となっている。4は分光器、5はマルチチャネルディテクタで、両者でマルチチャネル分光器6を構成している。7は信号処理器、10は多層薄膜試料（以下、単に試料という）である。

【0025】次に、動作について説明する。まず、試料10に対し、白色光源1からの白色光を光ファイバ2を介して垂直 ($\theta = 0$) に照射し、その反射光を光ファイバ3を介して分光器4に入射し分光し、マルチチャネルディテクタ5でその強度を検出し、得られた反射スペクトルを信号処理器7に入力する。この時、試料10の各層で下の層へ光が透過する様な吸収のない波長範囲を選択する必要がある。もし吸収があれば、各層の膜厚以外に吸収による強度影響を受け、結果として測定誤差が大きくなる。

【0026】ここで、波長 (λ) の逆数、つまり波数 (σ) に変換すると、〔数2〕より膜厚はその差 $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$ ($\sigma_i = \lambda^{-1}_i$, $i = 1, 2$) のみに依存し、測定開始波長 (λ_1) には独立になる。すなわち、

【0027】

〔数5〕

$$d = \frac{1}{2n_1} \frac{1}{\cos \theta} \frac{1}{\Delta\sigma}$$

$$m = 1$$

となる。

【0028】従って、この反射スペクトルを高速フーリエ変換 (FFT という) すると線スペクトルになる。FFT をする理由は波長変数のままでは、スペクトルはブロードになり、後の処理が困難になるからである。

【0029】次に、反射スペクトルを検出するマルチチャネルディテクタ5のセンサの個数が有限 (例えば1024個) のため、そのままFFTを行うと信号の両端の値 (1番目と最後のセンサの値) に結果が大きく影響される。そこで、よく知られた窓処理、例えばハニング (Hanning) 窓等を用いる。更にFFTの基底を細かくし、変換 (近似) 精度を向上させるために、得られた信号 (例えば1024個) の後へ0を拡充する。例えば信号の総数を N 倍にすれば、精度は N 倍改善され

る。この拡充された信号に対してFFT処理を行い、その結果からエネルギースペクトルを求める。

【0030】この時、ピークを与える情報は〔数4〕より、各層の膜厚によるものである。しかし、このままでは真のピークを与えていない可能性がある。そこで、真のピークの場合、ピークの両隣りの値が同じであるという仮定を設け、補間による真のピークを求める。これによりピーク位置の精度は10倍程度改善される。

【0031】この第j番目のピーク位置より、次の式が成り立つ。

【0032】

〔数6〕

$$2 \left(\sum_{i=1}^j n_i d_i \right) = \frac{1}{\Delta \sigma}$$

$$\Delta \sigma = (M/k_j) \cdot 1$$

10

* M: 信号の数

k_j : 第j番目のピーク位置

1: 分解能=測定波数範囲/M

従って、第1ピークから順に計算していくことで各層の膜厚が計算できる。

〔具体例〕図6に示すような測定点で試料10を本発明により測定したものと触針計で測定した結果とを下記

〔表1〕に示す。

〔表1〕

本発明による膜厚	触針計による膜厚
1層目	
$n_1 = 1.724$	
a点の膜厚 $15.20 \mu\text{m}$	$15.2 \mu\text{m}$
b点の膜厚 $18.96 \mu\text{m}$	$19.0 \mu\text{m}$
2層目	渦電流計による膜厚
$n_2 = 1.862$	
c点の膜厚 $4.37 \mu\text{m}$	$4.3 \mu\text{m}$
d点の膜厚 $4.07 \mu\text{m}$	$3.9 \mu\text{m}$

*

試料10は、2層で構成されており、第1層目の屈折率 (n_1) は試料10の1点で触針計による膜厚から計算により算出し、 $n_1 = 1.724$ とした。第2層目の屈折率 (n_2) は試料の1点で、渦電流計による膜厚から計算により算出し、 $n_2 = 1.862$ とした。

【0033】

【発明の効果】本発明の多層薄膜の膜厚検出方法は、多層薄膜試料に白色光を照射し、該試料より反射した光を分光し、そのスペクトルを高速フーリエ変換してエネルギースペクトルを得、その波形を〔数5〕に基づいて処理して薄膜の膜厚を得るようにしたので、多層薄膜の膜厚を高速非破壊で測定できる。そして、波形の処理において、波数変換、ハニング窓処理、0拡充等を行うので、比較的少ないデータ数から精度よく膜厚を検出することができる。

【0034】さらに、本発明の多層薄膜の膜厚検出装置は、白色光源と、この白色光源の光を多層薄膜試料に照射する光ファイバと、照射した光の前記多層薄膜試料からの反射光を導く光ファイバと、この光ファイバを介して前記反射光を入射せしめて分光し、その強度を検出するマルチチャネル分光器と、このマルチチャネル分光器の出力を信号処理する信号処理器とからなるので、簡単な構成で、かつ高速非破壊で精度よく膜厚を検出することができる。

※【0035】本発明の多層薄膜の膜厚検出方法を用いると、比較的少ないデータ数から窓処理、0拡充、そのデータに対する高速フーリエ変換の手法を用いて膜厚を高速非破壊で精度よく算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる多層薄膜の膜厚検出装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明によるエネルギースペクトル〜(波数)グラフの一例を示す模式図である。

【図3】単層膜に入射した光線の反射光路を示す模式図である。

【図4】図3の場合の反射強度スペクトルを示す図である。

【図5】多層膜に入射した光線の各層の振幅反射率、フレネル係数の関係を説明する模式図である。

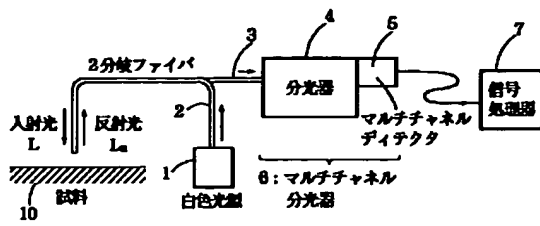
【図6】膜測定した場合の、測定点を示す図である。

【符号の説明】

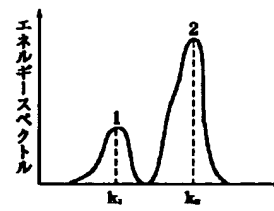
- 1 白色光源
- 2 光ファイバ
- 3 光ファイバ
- 4 分光器
- 5 マルチチャネルディテクタ
- 6 マルチチャネル分光器
- 7 信号処理器

※50

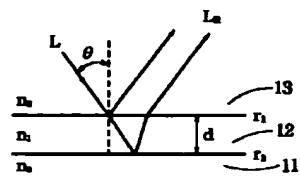
【図1】



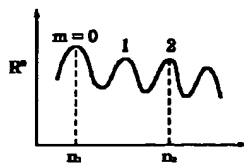
【図2】



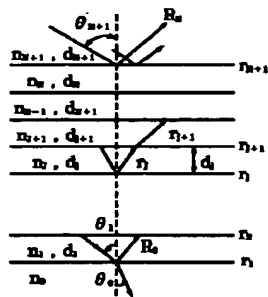
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

